Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 117 (2019)

Heft: 6

Artikel: Vergleich von mobilen 3D-Indoor-Erfassungssystemen für die Überprüfung von Grundrissplänen

Autor: Eichenlaub, D. / Steiner, B. / Blaser, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-864679

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Vergleich von mobilen 3D-Indoor-Erfassungssystemen für die Überprüfung von Grundrissplänen

D. Eichenlaub, B. Steiner, S. Blaser

Der Abgleich zwischen Grundrissen und Grundrissplänen gehört zu den zentralen Aufgaben des Infrastrukturmanagements. Mobile 3D-Indoor-Erfassungssysteme (3D-MIE) gewinnen dabei an Bedeutung. Im Rahmen dieser Zertifikatsarbeit des CAS 3DGeo wurden verschiedene 3D-MIE auf ihre Praxistauglichkeit zur 3D-Innenraumaufnahme evaluiert. Dabei erfolgten Testmesskampagnen mit drei ausgewählten Systemen. Des Weiteren wurde ein halbautomatisches Verfahren entwickelt, um bestehende Grundrisse mit neu erfassten 3D-Punktwolken zu vergleichen. Der Grad der Übereinstimmung wird gemäss einem Ampelsystem in deutliche (grün), geringe (orange) und keine Übereinstimmung (rot) kategorisiert. Damit lassen sich bereits wenige Zentimeter grosse Abweichungen gegenüber den bestehenden Grundrissplänen auf effiziente Art und Weise erkennen. Zusätzliche Kenntnisse über die erfassten Räume sind hilfreich, um tatsächliche Grundrissänderungen von übrigen Abweichungen zu unterscheiden. Das Verfahren zeigt ein hohes Potenzial für die Entwicklung computerbasierter Unterstützung oder Automatisierung auf.

La comparaison entre vue en plan et plan de situation appartient aux tâches centrales de la gestion des infrastructures. Dans ce contexte les systèmes 3D mobiles de saisie indoor (3D-MIE) gagnent en importance. Dans le cadre de ce travail de certificat du CAS 3DGeo différents 3D-MIE ont été évalués quant à leur aptitude pratique à faire des relevés d'espaces intérieurs. Ainsi des campagnes test de mesures ont été menées avec trois systèmes sélectionnés. En plus un procédé semi-automatique a été développé qui permet de comparer des vues en plan existantes avec des nuages de points 3D nouvellement saisis. Le degré d'adéquation est catégorisé selon un système de feux comme clairement (vert), faible (orange), néant (rouge). Ainsi, même des écarts de quelques centimètres par rapport aux plans de situation existants sont perceptibles de façon efficiente. Des informations supplémentaires sur les espaces saisis sont utiles pour distinguer des modifications de vues en plan par rapport à d'autres décalages. Le procédé démontre un haut potentiel pour le développement d'assistance ou d'automatisation par ordinateur.

La compensazione tra le proiezioni orizzontali e le planimetrie è uno dei compiti principali della gestione delle infrastrutture. I sistemi di rilevamento 3D Indoor (3D-MIE) acquistano sempre più rilevanza. Nell'ambito di questo lavoro di diploma CAS 3DGeo si sono valutati diversi 3D-MIE a livello di funzionalità nella pratica per le riprese 3D di spazi interni. Ne sono risultate delle campagne di misurazione sperimentali con tre sistemi selezionati. In seguito si è sviluppato un processo semiautomatico per confrontare i piani esistenti con le nuove nuvole di punti 3D rilevate. Il livello di conformità è stato espresso con un sistema a semaforo che attesta una conformità evidente (verde), una conformità limitata (arancio) e nessuna conformità (rosso). In tal modo è facile individuare degli scostamenti di alcuni centimetri rispetto alle planimetrie. Inoltre, ulteriori conoscenze sui locali rilevati sono utili per differenziare le vere e proprie modifiche dei piani da altri scostamenti. Il processo dimostra di avere un alto potenziale di sviluppo o automazione del supporto basato sul computer.

1. Einleitung und Problemstellung

Die Digitalisierung macht auch vor Gebäuden und Abbildungen interner Prozesse keinen Halt (Roos, G. T., 2018). Dies erfährt auch die Rapp Infra AG (Basel), welche den Kataster von rund 120 Industriearealen betreut. Die Nutzung der Gebäudedaten zur Dokumentation von Prozessen, Raumnutzung und Planung hat stark zugenommen. Nur aktuelle Plandaten gewinnen das Vertrauen, womit eine laufende Anpassung von Grundrissplänen an Veränderungen essenziell ist. Auch bei Neubauten ist Vorsicht geboten. Denn beim Bau entstehen oft Abweichungen von der Planung, welche nach der Fertigstellung in den Plänen angepasst werden sollten.
Die herkömmliche Kontrolle der Grundrisspläne durch Begehung und Aufnahme von Kontrollmassen durch Fachpersonen ist aufwendig und fehleranfällig. Das Resultat hängt erheblich von der Arbeitsweise, Erfahrung und Konzentration der ausführenden Person ab. Eine technische Unterstützung der Datenaufnahme und die anschliessende automatisierte Kontrolle zwischen Aufnahme und Grundrisspläne ist zentral für eine qualitative Verbesserung der herkömmlichen Erfassung.
Heute verfügbare 3D-MIE stellen einen Lösungsansatz dar. Mit einem 3D-MIE könnten die Innenräume rasch erfasst werden. Durch den Abgleich der erhobenen 3D-Daten mit bestehenden Grundrissplänen könnten Veränderungen eruiert und direkt nachgeführt werden. Zusätzlich können die 3D-Aufnahmen in einem Viewer zur Verfügung gestellt werden, welcher virtuelle Begehungen sowie räumliche Vermessung ermöglichen.

2. Vergleich von mobilen 3D-Indoor-Erfassungssystemen

Für die Vergleichbarkeit der Datenerfassung mit den 3D-MIE dient das 3. Ober-

geschoss im Gebäude der Firma Rapp Infra AG als Testumgebung (Abb. 1). Die Büroräume sind möbliert und verfügen über grosszügige Fenster. Sie haben eine einheitliche Raumhöhe (2.6 m) und Beleuchtung, weisen aber unterschiedliche Grundrisse und Zugangs- oder Durchgangsmöglichkeiten auf. Sie sind um einen rechteckigen Korridor (50 m × 20 m, Raumhöhe 2.3 m) angeordnet.
Testmessungen werden mit Zeb-Revo RT, BIMAGE CapturePro Backpack und NavVis IMMS M6 durchgeführt (Abb. 2 und Tab. 1). Eine zentrale Voraussetzung ist der Betrieb der Geräte, ohne dass der laufende Produktionsablauf zu stark gestört wird. Weitere Voraussetzungen sind die Bedienbarkeit durch eine Person und die Erstellung von 3D-Punktwolken mit Laserscannern.

	Zeb-Revo RT	BIMAGE Backpack	NavVis IMMS M6
Firma/Institut	GeoSLAM Limited	IGEO FHNW / iNovitas AG	NavVis GmbH
Geräteführung	Hand	Rucksack	Trolley
Datenvolumen bei der Aufnahme	ca. 10 MB/min	Abhängig von Auslösefrequenz, in dieser Studie 20 GB in 30 Minuten	250–550 MB/min
Speicherplatz	120 GB	2'500 GB	256 GB intern / 1 TB extern
Akkulaufzeit	1.5 h	k. A.	3.5 h
Messdauer für Testumgebung	20 min	30 min	45 min
Erreichbare Genauigkeit	Relativ: 1–3 cm Absolut: 3–30 cm (nach 1 Loop von 10 Minuten Dauer)	Absolut: 3 cm (mit räumlichem Vorwärtseinschnitt aus mehreren Bildmessungen nach erfolgreicher bildbasierter Georeferenzierung)	1–2 cm
Laserscanner			
Anzahl/Typ	1× Hokuyo UTM-30LX-F	2× Velodyne VLP-16 Puck LiDAR scanner	k. A. zum Typ 1 Multi Layer (ML) 3 Single Layer (SL)
Reichweite	30 m	100 m	SL: 30 m ML: 100 m
Öffnungswinkel	270° horizontal x 360° vertikal	360° horizontal × 30° vertikal	SL: 270° horizontal ML: 360° horizontal x 30° (–15° – +15°) vertikal
Auflösung	0.625° horizontal 1.8° vertikal	0.1°–0.4° horizontal × 2° vertikal	SL: 0.25° horizontal ML: 0.4° horizontal / 2° vertikal
Datenaufnahme (Punkte / s)	43'200	max. 300'000	SL: 43'200, ML: 300'000
Kameras			
Anzahl / Typ	1× GoPro Session (optional)	1× Panoramakamera Ladybug5 mit 6× Einzelkameras	1× Panoramakonfiguration mit 6× Einzelkameras (k. A zum Typ)
Auslösefrequenz	30 fps (Video-Modus)	Nach 1 m Distanz oder 20° Drehung	k. A.
Bildauflösung (Pixel x Pixel)	1920 × 1440	2448 × 2048 (Einzelkamera)	4592 × 3448 (Einzelkamera)
Öffnungswinkel	120° × 90°	113° × 94° (Einzelkamera)	k. A.

Tab. 1: Vergleich der für den Innenbereich relevanten Eigenschaften der 3D-MIE (k. A. = keine Angabe).

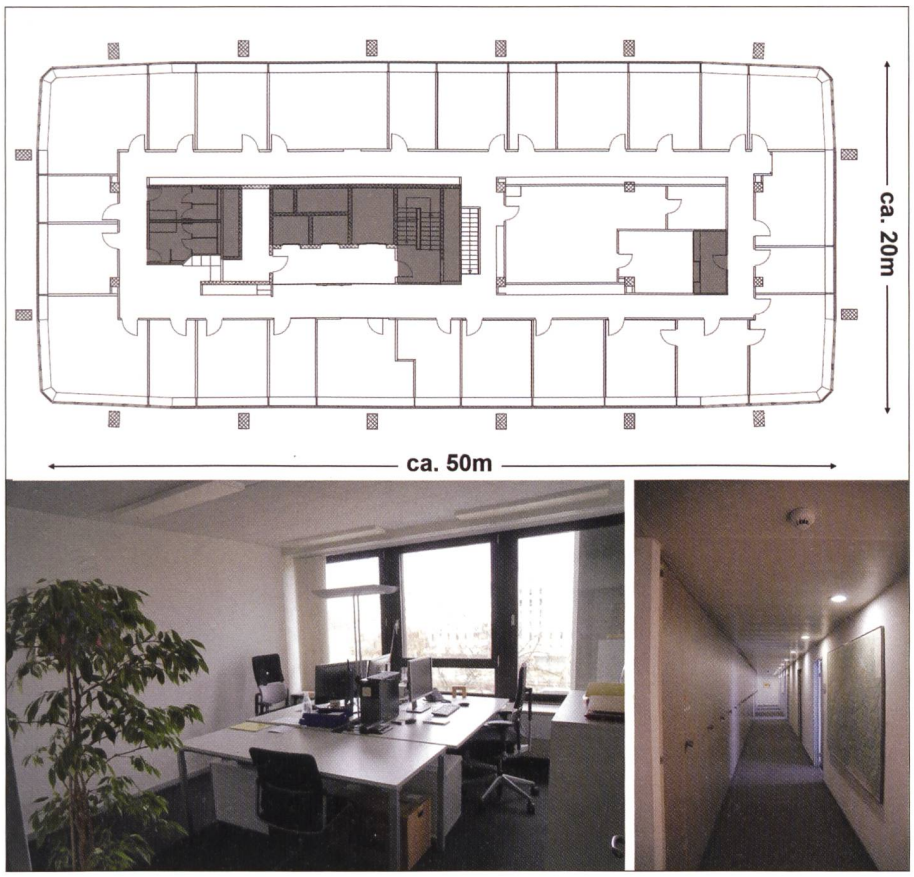

Abb. 1: Oben: Grundrissplan des 3. Obergeschosses bei der Rapp Infra AG (Plan der Rapp Infra AG, Basel), welches als Testumgebung dient. Alle weiss hinterlegten Räume waren Teil der Testumgebung. Die Räume mit grau hinterlegter Farbe wurden nicht berücksichtigt. Unten: Einblicke in ein Büro und in den Korridor der Testumgebung.

Zeb-Revo RT von GeoSLAM Limited besteht aus dem Zeb-Revo, einem Datenlogger und einem Tablet oder einem iPhone zur Steuerung. In dieser Zusammensetzung ist eine Kontrolle der erfassten Punktwolke in Echtzeit möglich. Der miteinander rotierende Profilscanner und die IMU-Einheit bilden das Kernstück.

Der BIMAGE Backpack wurde als prototypisches System im Rahmen des Innosuisse-Forschungsprojekts «BIMAGE» des Instituts für Geomatik an der FHNW und der iNovitas AG entwickelt (Blaser et al. 2018). Zwei LiDAR-Sensoren dienen der Navigation und der Datenaufnahme. Die Panoramakamera besteht aus sechs einzelnen Kameraköpfen. Die LiDAR-Daten und die einzelnen Bilder werden in Echtzeit überprüft, nicht aber die 3D-räumliche Anordnung der Bilder. Eine Bildaufnahme wird ausgelöst, wenn ein vordefinierter minimaler räumlicher Fortschritt oder Drehwinkel (hier: 1 m und 20°) registriert werden.

NavVis IMMS M6 von NavVis GmbH zeichnet sich durch seine solide Bauweise und hohe horizontale Mobilität aus. Ein 360°-LiDAR-Sensor, sechs Bildkameras und drei Laserscanner dienen der Datenaufnahme. Die oberste Einheit ist flach konstruiert, so dass sie durch herkömmliche Türen hindurchgeführt werden kann.

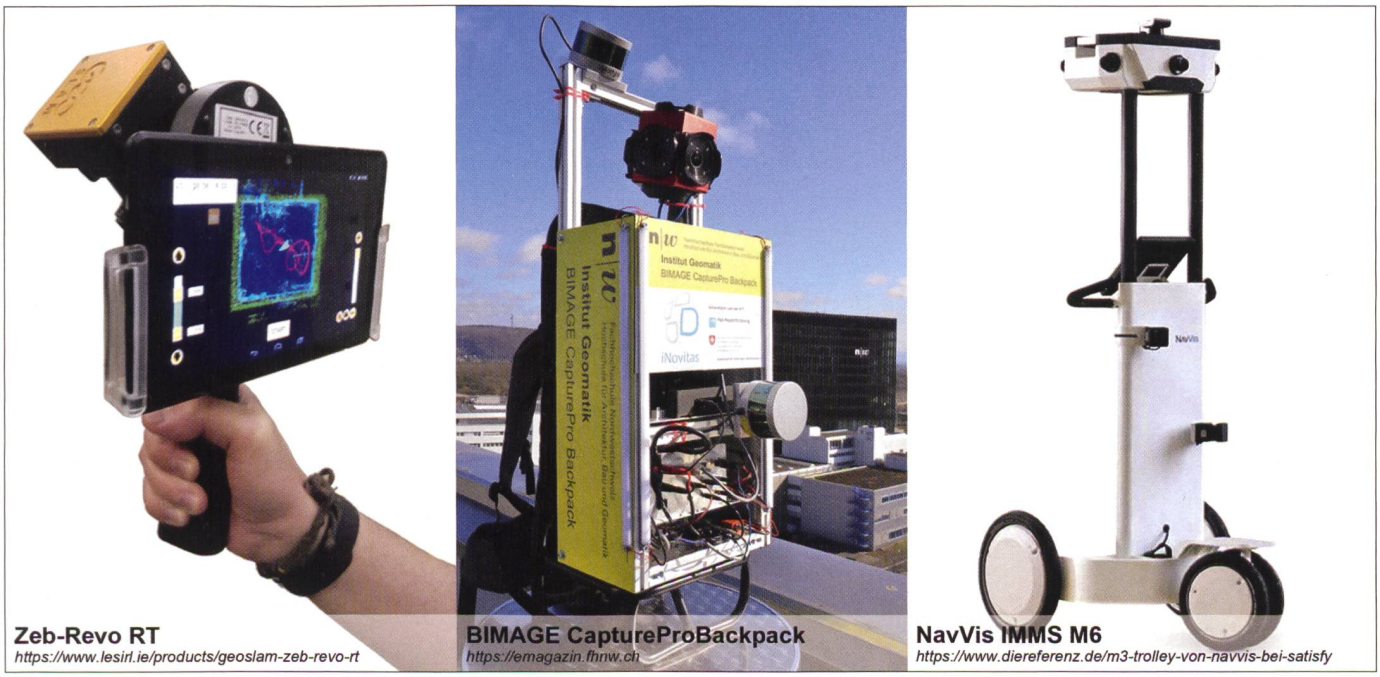

Abb. 2: Für diese Studie getestete 3D-MIE.

In den Eigenschaften der einzelnen Scanner und Kameras sind sich die Geräte einander weitgehend ähnlich. Die Auflösung der Scanner liegt bei 0.1°–0.625° horizontal und 1.8°–2° vertikal. Für Zeb-Revo RT ist anzunehmen, dass dessen geringe Auflösung durch die freie Handführung und mehrfache Abtastung der Umgebung ausgeglichen werden kann. Der Öffnungswinkel der Scanner umfasst horizontal und vertikal mindestens 270° bzw. 30°. Der Öffnungswinkel von 360° für Zeb-Revo RT wird durch die permanente Rotation des Scanners erreicht. Die Unterschiede in den Bildgrössen, gemessen an der Anzahl Pixel, spiegeln deren beabsichtigte Verwendung wider. Alle Geräte beanspruchen für sich eine Genauigkeit von 1–2 cm.

Unterschiede zwischen den 3D-MIE liegen in der Bauweise und Konzeption der Scanner und Kameras. Zeb-Revo RT begnügt sich mit geringer Reichweite, Datenaufnahme und Speicherplatz. Durch die flexible Geräteführung können Nischen erfasst sowie räumliche Hindernisse passiert werden. BIMAGE CapturePro Backpack und NavVis IMMS M6 sind mit den zusätzlichen Panoramakamerakonfigurationen für die bildbasierte 3D-Erfassung ausgelegt. Deren (Multi-)Profillaserscanner operieren mit hohen Abtastraten, um im dynamischen Betrieb die gleichzeitige Positionierung des Systems und die Kartierung der Umgebung (SLAM) zu ermöglichen.

3. Automatischer Vergleich von Grundrissplänen mit 3D-Punktwolken

Die Punktwolken der 3D-MIE werden genutzt, um die Grundrisspläne auf Veränderungen und Genauigkeit zu prüfen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Grundrisspläne digital als Vektordatei, in der Regel als CAD-Datei, vorliegen und die Objekte darin in Ebenen strukturiert bzw. klassifiziert sind.

Die Punkte einer Punktwolke, die Messpunkte, sind jedoch noch nicht klassifiziert. Ohne eine vorgängige Klassifizierung kann nicht unterschieden werden, ob ein Punkt zu einer Wand oder zu einem anderen Objekt gehört. Es bestehen bereits Verfahren zur automatischen Klassifizierung der Punkte. Macher et al. (2017) erreichen mit ihrem Algorithmus zur Klassifizierung von Wänden, Decken und Böden eine Trefferquote von 90%. Teilweise wurde die Vorgehensweise von Macher et al. (2017) für die vorliegende Studie verwendet.

3.1 Vorgehensweise zum automatisierten Abgleich des Grundrissplans mit der Punktwolke

Als Mass für die Korrektheit des Grundrissplans gilt die Anzahl Messpunkte innerhalb eines Buffers um die Geometrien (Abb. 3). Je höher die Anzahl Messpunkte im Buffer, desto eher stimmt die Geometrie mit der Punktwolke überein. Die Punktwolke wird dazu in Schichten von 10 cm entlang der Höhe eingeteilt, wovon fünf ausgewählt und zusammengelegt werden (Okorn et al., 2010). Diese vertikale Selektion erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eine Wand in der Summe der gewählten Schichten erkennbar ist.

Die Geometrien werden auf Basis der Übereinstimmung ähnlich einem Ampelsystem Grün, Orange oder Rot für deutliche, geringe und keine Übereinstimmung eingefärbt. Die Wahl der Bufferbreite und der Grenzwerte für die Einteilung in das Ampelsystem werden empirisch bestimmt. Als Basis dienen (1) der mittlere Fehler der Einpassung von Grundrissplan zur Punktwolke und (2) die Punktdichte der gewählten Schichten.

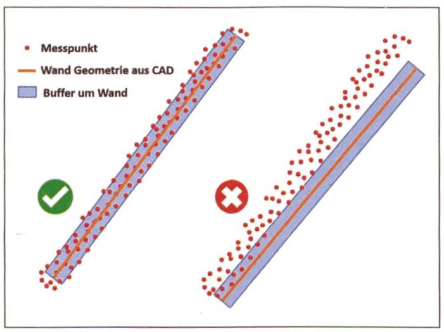

Abb. 3: Konzeptionelle Abbildung zur Klassifizierung von Geometrien auf Basis der Punktwolke.

3.2 Praxistauglichkeit

Ein vollautomatischer Abgleich zwischen Grundrissplan und Punktwolke ist nicht möglich. Dies wäre in einem leeren Raum mit idealen Bedingungen denkbar. In der Realität sind die Wände oft mit hohen Regalen oder anderen Störobjekten versperrt, wodurch die Geometrie für das optische Erfassungssystem nicht sichtbar ist. Es ergeben sich Fehlinterpretationen wie beispielsweise in Abb. 4. Eine visuelle und manuelle Kontrolle ist in jedem Fall erforderlich. Der automatisierte Abgleich kann bei der Kontrolle und Vorinterpretation unterstützend mitwirken. Hilfreich ist der automatisierte Abgleich bei kleinen Verschiebungen ausserhalb der zu erwartenden Genauigkeit. Vorgängige Bereinigung und Klassifizierung der Punktwolke können die Robustheit des automatisierten Abgleichs erhöhen. Alternativ könnte der Abgleich in 3D durchgeführt werden, indem die Wand-Geometrien extrudiert und mittels Punktwolken-Programmen ausgewertet werden.

4. Fazit

Die untersuchten 3D-MIE liefern einen Mehrwert für den Abgleich zwischen Grundrissen und Grundrissplänen. Alle Systeme sind für einen Einsatz durch eine einzelne Person konzipiert und erlauben eine akkubedingte Betriebszeit von mindestens 1½ Stunden. Sämtliche getesteten 3D-MIE sind kompakt, einfach steuerbar und arbeiten, abgesehen von den LiDAR-Pulsen im nahen Infrarot, weitgehend emissionsfrei, sodass sie einen laufenden Produktionsbetrieb nicht stören. Sie eignen sich somit auch für die Aufnahme von Lager- und Industriehallen.

Das Testfeld (ca. 1000 m² grosse, eingeschossige Bürofläche) liess sich in einem Zug, ohne Unterbruch erfassen. Hingegen ist es bei stockwerkübergreifenden und weiter ausgedehnten Innenräumen empfehlenswert, die Erfassung in mehrere kleinere Kampagnen zu unterteilen. Dabei sollte eine Kampagne jeweils genügend Überlappungsbereiche und Schleifenschlüsse aufweisen, damit die Algorithmen den Drift detektieren und

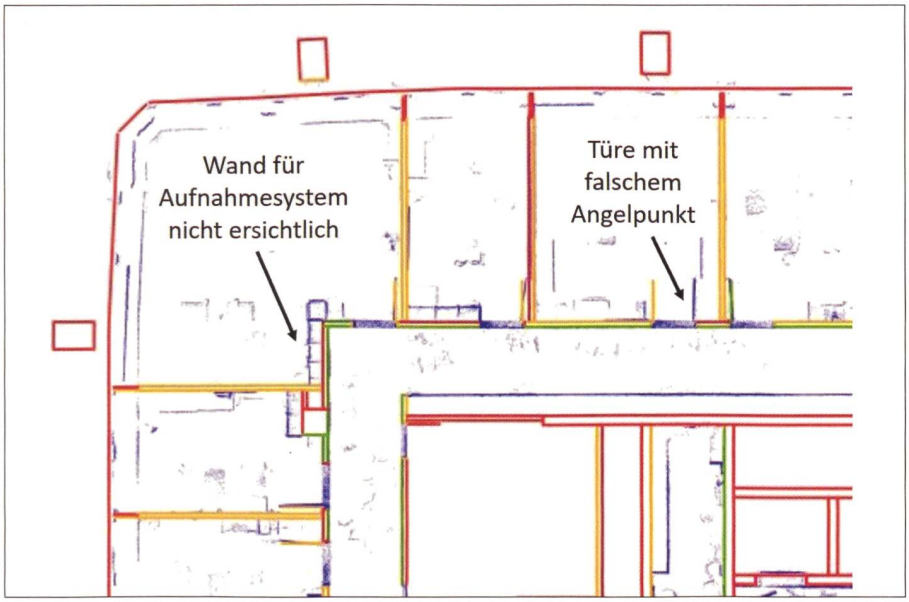

Abb. 4: Ausschnitt aus dem Gebäudeplan mit den klassifizierten Geometrien.

automatisch korrigieren können. Die Bedienung und Führung des Geräts beeinflusst die Dichte sowie die Vollständigkeit der Punktwolke. Weitere Bedingungen, z. B. ausreichende Textur und maximaler Abstand zu den zu erfassenden Objekten, treffen für alle Systeme gleichermassen zu. Sind diese Bedingungen für ein System nicht ausreichend erfüllt, können Einbussen kaum durch andere in dieser Studie berücksichtigten Systeme behoben werden (Chen et al., 2018).

Die lokalen 3D-Punktwolken wurden mit einer Helmert-Transformation (ohne Massstabsschätzung) in die Grundrisspläne transformiert. Die resultierende empirische Standardabweichung eines Stützpunkts von 2 cm zeigt das Genauigkeitspotenzial auf, was sich für diese Anwendung als ausreichend erwies. Der Einsatz von 3D-MIE gewährt bei fachlich korrekter Ausführung eine einheitliche Datenaufnahme in allen Innenräumen.

Mit dem vorgestellten Ansatz kann der Nachführungsprozess von Grundrissplänen systematischer gestaltet werden, was bisherige Fehlerquellen erheblich reduziert oder gar eliminiert. Insbesondere die Einteilung der Übereinstimmung der einzelnen Wandabschnitte in einem Ampelsystem gibt bei sorgfältiger Datenverarbeitung eine zweckmässige Arbeitsstruktur vor.

Die Arbeitsschritte werden grösstenteils noch manuell erledigt. Es besteht noch ein Entwicklungspotenzial in Richtung technischer Unterstützung und weiterer Automatisierung des Arbeitsablaufs. Dies vor allem bei der Auswahl der verwendeten Schichten und der Definition der statistischen Grenzwerte für Bufferbreite und Schwellenwerte für die Einteilung der Geometrien in das Ampelsystem.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den folgenden Personen herzlich für die Unterstützung:

- Thomas Haszprunar (NavVis) & Hans Scharf (NavVis) für die Testmessung mit NavVis IMMS M6
- Jürg Pulfer (allnav ag) für die Testmessung mit Zeb-Revo RT

Dieser Artikel entstand im Rahmen des Zertifikatslehrgangs 3D-Geoinformation (CAS 3D GEO) der Fachhochschule Nordwestschweiz. Der nächste CAS 3D GEO startet am 24. September 2019 und vermittelt das Wissen zur Erfassung, Modellierung, Verwaltung, Analyse und Nutzung von Geodaten in der dritten Dimension.
www.fhnw.ch/de/weiterbildung/architektur-bau-geomatik/cas-3d-geo

Literatur:

Blaser, S., Cavegn, S. & Nebiker, S., 2018. Development of a portable high performance mobile mapping system using the robot operating system. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV-1, S. 13–20, https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-1-13-2018.

Chen, Y., Tang, J., Jiang, C., Zhu, L., Lehtomäki, M., Kaartinen, H., Kaijaluoto, R., Wang, Y., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Zhou H., Pei, L. & Chen, R., 2018: The accuracy comparison of three simultaneous localization and mapping (SLAM)-based indoor mapping technologies. In: Sensors, 18/3228, S. 1-24, https://doi.org/10.3390/s18103228.

Macher, H., Landes, T. & Grussenmeyer, P., 2017: From Point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. In: Applied Sciences, 7/1030, S. 1–30, https://doi.org/10.3390/app7101030.

Okorn, B., Xiong, X., Akinci, B. & Huber, D., 2010: Toward automated modeling of floor plans. In: Proceedings of the Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Mai.

Roos, G. T., 2018: Megatrends Report Swissfuture. URL: https://digitalswitzerland.com/wp-content/uploads/2018/02/Megatrends_Report_Swissfuture.pdf [Stand: 24.11.2018].

Dominik Eichenlaub
Rapp Infra AG
Hochstrasse 100
CH-4018 Basel
dominik.eichenlaub@rapp.ch

Brian Steiner
Universität Basel
Bernoullistrasse 32
CH-4056 Basel
brian.steiner@unibas.ch

Stefan Blaser
Institut Geomatik
Hochschule für Architektur,
Bau und Geomatik
Fachhochschule Nordwestschweiz
Hofackerstrasse 30
CH-4132 Muttenz
stefan.blaser@fhnw.ch